

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ, ВОЗБУЖДАЕМОЙ СВЕРХКОРОТКИМ ИМПУЛЬСОМ

А.М. Бобрешов¹, А.Е. Калашников²

(¹ Воронеж, Воронежский Госуниверситет, bobreshov@phys.vsu.ru;

² Воронеж, Воронежский Госуниверситет, kalashae@gmail.com)

THE METHOD TO INCREASE DIRECTIVITY OF ANTENNA ARRAYS WITH ULTRA-SHORT DRIVEN PULSE

A.M. Bobreshov, A.E. Kalashnikov

В работе представлена методика повышения направленных свойств антенной решётки, возбуждаемой сверхкоротким импульсом. Увеличение коэффициента направленного действия достигается за счёт соответствующего выбора формы возбуждающего импульса. При этом учитываются заранее заданные ограничения на длительность сигнала и границы его частотного диапазона. Для электродинамического описания элементов решётки используется векторная импульсная характеристика антенны [1], что позволяет одновременно учесть как пространственные свойства антенных элементов, так и их частотные характеристики.

Рассмотрим линейную эквидистантную антенную решётку (рис. 1). Математический аппарат данного метода основан на представлении возбуждающего сигнала в виде вейвлет-ряда:

$$s_i(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{b=-\infty}^{\infty} \psi_{mb}(t) W_{mbi}, \quad (1)$$

где $s_i(t)$ – сигнал, возбуждающий i -й элемент решётки; $\psi_{mb}(t)$ – вейвлет, принадлежащий к семейству ортогональных; m – коэффициент масштаба, b – коэффициент сдвига, W_{mbi} – коэффициенты разложения в ряд. В процессе вычислений в соответствии с определённым критерием рассчитываются коэффициенты W_{mbi} , а затем по формуле (1) восстанавливается входной сигнал. Критерием является максимизация целевой функции, определяемой как взвешенная разность энергий основного и бокового излучения решётки $EW = \alpha \cdot EM - \beta \cdot ES$ при постоянной суммарной энергии возбуждающих импульсов.

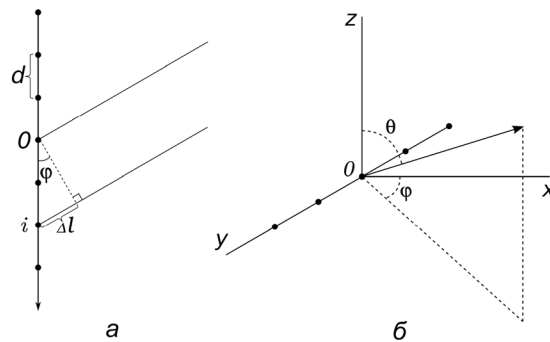


Рис. 1

В работе получены следующие итоговые формулы для расчёта коэффициентов разложения сигнала в (1). Целевая функция, подлежащая максимизации, определяется как

$$EW = \alpha \cdot EM - \beta \cdot ES = \sum_p \sum_q W_p W_q \Phi_{pq}^\theta, \quad (2)$$

где EM – энергия основного излучения, ES – энергия бокового излучения; α, β – положительные весовые коэффициенты. Величины Φ_{pq}^θ в (2) вычисляются по формуле:

$$\Phi_{pq}^\theta = \alpha \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \int_{-\infty}^{\infty} B_p^\theta(t, \varphi) B_q^\theta(t, \varphi) dt d\varphi - \beta \int_{\varphi \notin (\varphi_{\min}; \varphi_{\max})} \int_{-\infty}^{\infty} B_p^\theta(t, \varphi) B_q^\theta(t, \varphi) dt d\varphi, \quad (3)$$

$$B_{mbi}^{\theta}(t, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{mb}(\tau) h_{\theta}(t - \Delta t_i - \tau, \varphi) d\tau. \quad (4)$$

$$\Delta t_i = i \cdot \frac{d \cdot \sin \varphi}{c}$$

При переходе от (4) к (3) выполнена замена, каждой тройке индексов $\{m, b, i\}$ сопоставлен уникальный индекс $p: \{m, b, i\} \rightarrow \{p\}$.

В выражении (4) величина $h_{\theta}(t, \varphi)$ является θ -проекцией векторной импульсной характеристики $\vec{h}(t, \vec{r})$ антенного элемента на окружности большого, но фиксированного радиуса, лежащей в плоскости xOy (рис. 1). Коэффициенты m и b в (4) принимают ограниченный ряд значений, при этом ограничения выбираются из условия, чтобы энергия вейвлет-функций была сосредоточена в интересующей нас частотной области, а длительность сигнала не превышала заданную.

Непосредственно минимизация величины EW в (2) выполняется поиском собственных векторов \vec{W} матрицы \hat{F} . Коэффициенты α и β определяют относительный приоритет максимизации энергии основного излучения EM перед минимизацией бокового ES .

В соответствии с полученными выражениями был произведён расчёт входного сигнала для решётки из 4-х ТЕМ-рупоров. Размеры антенных элементов $D = 125$ мм, $\Pi = 150$ мм, $B = 70$ мм. Расстояние между ними $d = 20$ см. Ограничения на длительность сигнала была принята равной 3.5 нс, спектр искомого сигнала был ограничен диапазоном 400 МГц – 45 ГГц. Основным считалось излучение, лежащее в пределах сектора $\varphi \in (-15^{\circ}; 15^{\circ})$. В качестве базисного использовался вейвлет Добеши 4-го порядка. Весовые коэффициенты были выбраны равными $\alpha = 0.3$, $\beta = 0.7$.

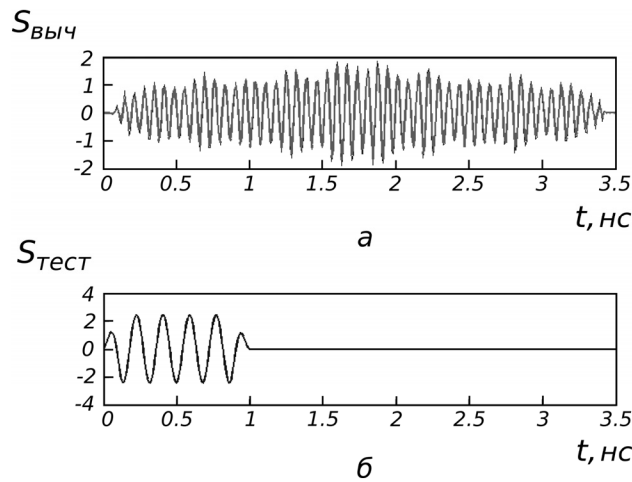


Рис. 2

На рис. 2 а приведён вид рассчитанного входного сигнала. В работе было проведено сравнение характеристик решётки, возбуждаемой рассчитанным импульсом и радиоимпульсом в виде отрезка синусоиды с различной длительностью и частотой заполнения. Относительный выигрыш K в коэффициенте направленного действия для рассчитанного сигнала по отношению к тестовому в виде отрезка синусоиды приведён на рис. 3.

Наименьший выигрыш, практически равный единице, достигается при частоте синусоиды $f = 17$ ГГц и длительности около 3 нс. В данном случае можно считать, что выигрыш в КНД отсутствует. Но для данного тестового сигнала при этих параметрах величина коэффициента усиления меньше чем для рассчитанного на порядок.

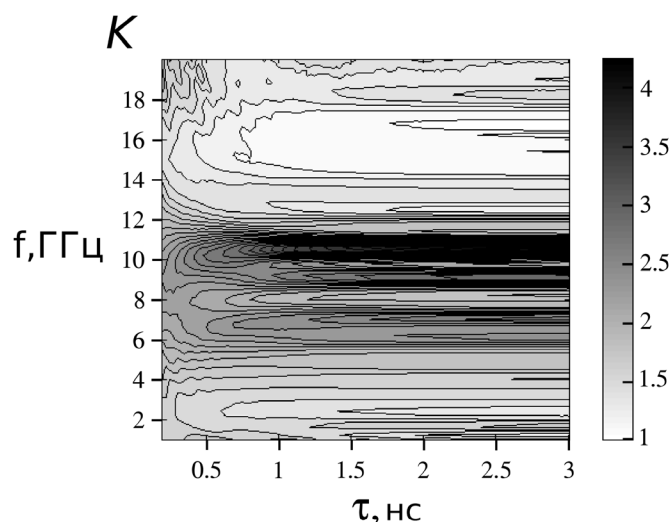


Рис. 3

Литература

1. Астанин Л. Ю. Очерк истории использования сверхширокополосных радиолокационных сигналов: их описание и обработка // Радиотехника. 2009. № 3. С. 37–45.
2. Shlivinski A., Heyman E., Kastner R. Antenna characterization in the time domain // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1997. Vol. 45. No. 7. P. 1140–1149.
3. Темченко В. С. Векторная пространственно-временная характеристика антенны, возбуждаемой сверхширокополосным короткоимпульсным сигналом // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 1–2. С. 147–154.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СВЧ ПОЛЯ ЗА РАДИОГОРИЗОНТОМ ПО ИЗМЕРЕННОМУ ПРОФИЛЮ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Б.В. Жуков¹, О.Л. Шилыева², В.А. Петров²

(¹ Харьков, Украина, Институт радиофизики и электроники
им. А.Я. Усикова НАН Украины, zhukov@ire.kharkov.ua;

² Харьков, Украина, Харьковский национальный университет
радиоэлектроники, olyacasual@yandex.ru)

SOME RESULTS OF UHF FIELD CALCULATIONS BEYOND RADIO HORIZON FROM MEASURED PROFILE OF THE REFRACTION COEFFICIENT

B.V. Zhukov, O.L. Shilyaeva, V.A. Petrov

Известно, что при благоприятных условиях распространения радиоволн вдоль земной поверхности зона действия радиотехнических систем СВЧ диапазона может быть расширена на область ближней геометрической тени. Нестационарный характер атмосферных процессов в пограничном слое атмосферы определил развитие различных методов зондирования его параметров, результаты которых являются исходными данными для диагноза и прогноза условий распространения радиоволн. Среди известных методов зондирования наибольшее распространение получил метод измерения высотного профиля показателя преломления $N(h)$ в районе расположения заданных радиотрасс. Наглядность измеренных высотных профилей обеспечила возможность получения качественной оценки – в виде нескольких типов условий проникновения радиополя в зону геометрической тени. Вопросам расчета поля при распространении радиоволн над земной поверхностью посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные работы [1, 2 и др.].